第 40 卷 增刊 昆 虫 学 报 Vol. 40, Suppl.
1997 年 11 月 ACTA ENTOMOLOGICA SINICA Nov., 1997

不同抗性水平棉铃虫地理种群的基因交流对抗性演化的影响*

吴孔明 郭予元
(中国农业科学院植物保护研究所 北京 100094)

摘要 采自我国长江流域棉区的棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 四川简阳种群、湖北武穴种群、湖南衡阳种群、江苏南京种群和浙江杭州种群对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和硫丹的抗性水平分别为8.05～38.80、2.86～290.00和5.87～19.83倍。抗性较高的简阳种群和较低的杭州种群正、反交 F_1代对上述3种农药的抗性为13.16和16.69倍、10.43和19.00倍及12.42和10.21倍，抗性遗传的显性系数为－0.2220、－0.2147和0.0700，表明对辛硫磷、三氟氯氰菊酯抗性呈不完全隐性方式遗传，而硫丹抗性则为半隐性遗传。F_1自交 F_2代对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和硫丹的抗性水平分别为17.66、7.57和9.03倍，F_1代对杭州种群回交 F_2代的抗性倍数分别为8.79、3.00和6.61。其结果，高抗区和低抗区棉铃虫种群的基因流动将导致对三种农药抗性水平明显下降。

关键词 棉铃虫，地理种群，抗药性，基因交流

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)对杀虫剂的抗性是其近年来在我国暴发成灾的重要原因之一[1]，因此，抗性治理是棉铃虫综合治理中重要组成部分。而明确棉铃虫抗药性演化规律则是指导抗性治理的理论基础。一般而言，化学农药的选择压、抗性与感性种群的基因交流程度、抗性的遗传方式、抗性种群的适合度和稳定性是影响抗性演化的主要因子[2~5]。前人已对棉铃虫抗性品系的选育、抗性遗传等进行了一些研究[6,7]，但有关棉铃虫田间抗、感种群基因交流对抗性动态的影响尚缺乏研究。

棉铃虫是兼性迁飞昆虫，近年来的研究表明，我国北部特早熟棉区棉铃虫由黄河流域棉区迁入，同时，棉铃虫在各大棉区内部的迁飞亦较为普遍[8,9]。迁飞将导致不同地区、不同抗性水平棉铃虫种群的基因交流，进而调节群体抗性的演化动态。为了探讨棉铃虫抗性发展机理，我们在对我国长江流域棉铃虫抗性监测的基础上研究了不同地理种群基因交流对棉铃虫抗性发展的影响。

1 材料与方法

1.1 供试棉铃虫种群及药剂

供试棉铃虫种群分别于1994年7～8月采于江苏南京市郊、湖北武穴市和1995年7～9

* 国家攀登计划资助项目
1997-05-06收稿，1997-06-25收修改稿

月采于浙江杭州市、四川简阳市及湖南衡阳市棉田。采集3～6龄幼虫，单头饲养至化蛹，羽化后大量繁殖，用人工饲料饲养至3龄，测定其对3种常用农药的抗性水平。饲养环境为(26±1)℃，RH：70％～90％，L∶D＝14 h∶10 h。

供试农药为84％辛硫磷原油（天津农药厂提供），43％三氟氯氰菊酯原油（英国捷利康公司提供）和95％硫丹原粉（德国赫司特公司提供）。

1.2　高抗性与低抗性棉铃虫种群杂交的试验方法

依据田间棉铃虫种群抗性监测结果，将抗性较高的四川简阳种群(RR)和抗性相对较低的浙江杭州种群(SS)进行了杂交与回交。设置的处理为：$RR_{♀} \times SS_{♂}$，$SS_{♀} \times RR_{♂}$，$RS_{♀} \times SS_{♂}$，$RS_{♀} \times RR_{♂}$ 和 $RS_{♀} \times RS_{♂}$。分别测定杂交 F_1代、F_2代及回交后代对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和硫丹的抗性水平。

棉铃虫对杀虫剂抗性遗传的显性系数按照亲本杂交 F_1代显性度(D)的 Falconer 氏[5]公式计算：$D=(2x_2-x_1-x_3)/(x_1-x_3)$，$x_1$、$x_2$、$x_3$分别为抗性品系、杂交后代 F_1和感性品系 LD_{50}的常用对数值。$D=1$为完全显性，$D=-1$为完全隐性，$D=0$为半显性(半隐性)。

1.3　毒力测定方法

供试幼虫为3龄幼虫，体重约20～30 mg。将农药溶于丙酮中，稀释成系列浓度，用点滴器将1 μL 药液滴在幼虫的前胸背板上。每浓度处理20～30头，重复3次，以丙酮为空白对照，处理后继续利用人工饲料饲养。24 h 后检查死亡率，以毛笔轻触虫体无明显反应者为死亡。采用机率值法建立毒力方程式，计算 LD_{50}等参数[10]，抗性指数为抗性种群 LD_{50}与敏感种群 LD_{50}比值。

2　结果与分析

2.1　我国长江流域棉铃虫对杀虫剂的抗性水平

供试棉铃虫采自四川、湖南、湖北、江苏和浙江，分别属于长江中、下游棉区。5个种群对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和硫丹的抗性测定结果见表1。表1显示，辛硫磷对各种群的LD_{50}值分布于7.00 μg/g～33.76 μg/g，而三氟氯氰菊酯和硫丹的 LD_{50}则分别分布于0.20 μg/g～20.30 μg/g 和21.20 μg/g～71.60 μg/g。

本实验室在室内连续饲养多年的一敏感品系，辛硫磷、三氟氯氰菊酯和硫丹对其的LD_{50}值分别为0.87、0.07和3.61 μg/g。如以其为敏感基线，则各地棉铃虫对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和硫丹的抗性指数分别为8.05～38.80倍、2.86～290.00和5.87～19.83倍。长江中游的四川简阳种群、湖北武穴种群和下游的南京种群抗性水平较高，位于长江中游南部与华南棉区北部交界处的湖南衡阳种群抗性处于中等状态，而下游地区南部的浙江杭州种群抗性明显低于其它地方。

2.2　高抗地区和低抗地区杂交、回交后代的抗性水平

采自简阳的种群对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和硫丹的抗性指数分别为38.69、165.86和

表1 棉铃虫对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和硫丹的抗性监测

地点	农药	LD_{50} (μg/g)	LD_{50}(μg/g) 95%置信限	LD_{90} (μg/g)	抗性指数
四川简阳市	辛硫磷	33.66	22.71～49.90	220.20	38.69
湖南衡阳市		16.04	12.61～20.41	45.88	18.44
湖北武穴市		23.48	14.96～36.81	212.85	26.99
江苏南京市		33.76	22.00～51.80	334.24	38.80
浙江杭州市		7.00	5.38～ 9.12	22.95	8.05
四川简阳市	三氟氯氰菊酯	11.61	9.01～14.96	34.47	165.86
湖南衡阳市		1.42	0.89～ 2.27	18.70	20.29
湖北武穴市		20.30	13.86～29.74	124.34	290.00
江苏南京市		9.47	6.21～12.87	38.69	135.29
浙江杭州市		0.20	0.14～ 0.30	1.19	2.86
四川简阳市	硫丹	71.60	47.78～107.29	585.22	19.83
湖南衡阳市		25.48	19.31～33.62	88.60	7.06
湖北武穴市		39.06	17.77～92.85	224.71	10.81
江苏南京市		56.24	38.23～82.59	367.60	15.58
浙江杭州市		21.20	15.48～29.61	84.07	5.87

注：敏感基线来自于一室内多年饲养的品系，其对辛硫磷、硫丹和三氟氯氰菊酯的 LD_{50} 值分别为0.87、3.61和0.07 μg/g

表2 简阳和杭州棉铃虫种群杂交 F_1代和回交、自交 F_2代对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和硫丹的抗性水平

地点	农药	LD_{50} (μg/g)	LD_{50} (μg/g) 95%置信限	LD_{90} (μg/g)	抗性指数
四川简阳市 (RR)	辛硫磷	33.66	22.71～49.90	220.20	38.69
浙江杭州市 (SS)		7.00	5.38～ 9.12	22.95	8.05
RR♀×SS♂		11.45	7.12～18.42	112.89	13.16
SS♀×RR♂		14.52	7.65～27.55	237.49	16.69
RS♀×SS♂		7.65	5.90～ 9.93	24.49	8.79
RS♀×RR♂		31.98	24.66～41.48	101.17	36.76
RS♀×RS♂		15.36	9.60～24.56	98.10	17.66
四川简阳市 (RR)	三氟氯氰菊酯	11.61	9.01～14.96	34.47	165.86
浙江杭州市 (SS)		0.20	0.14～ 0.30	1.19	2.86
RR♀×SS♂		0.73	0.41～ 1.22	15.44	10.43
SS♀×RR♂		1.33	0.67～ 2.68	80.35	19.00
RS♀×SS♂		0.21	0.11～ 0.37	0.62	3.00
RS♀×RR♂		2.56	1.31～ 5.07	82.77	36.57
RS♀×RS♂		0.53	0.40～ 0.70	1.95	7.57
四川简阳市 (RR)	硫丹	71.60	47.78～107.29	585.22	19.83
浙江杭州市 (SS)		21.20	15.48～29.61	84.07	5.87
RR♀×SS♂		44.83	34.46～58.55	161.56	12.42
SS♀×RR♂		36.87	27.94～48.61	145.35	10.21
RS♀×SS♂		23.85	16.26～38.78	38.78	6.61
RS♀×RS♂		32.60	20.92～45.52	178.17	9.03

19.83，杭州种群的抗性指数则为8.05、2.86和5.87倍，二者有显著的差别。二种群杂交、回交后代的抗性动态见表2。正交与反交 F_1对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和硫丹的抗性分别为13.16和16.69倍、10.43和19.00倍及12.42和10.21倍。棉铃虫对3种农药抗性遗传的显性

系数（D）如表3所示，D_{RS}和D_{SR}分别为正交（RR♀×SS♂）和反交（SS♀×RR♂）的显性系数。就正交和反交的平均值而言，抗辛硫磷、三氟氯氰菊酯遗传的显性系数分别为－0.2220和－0.2147，呈不完全隐性，而抗硫丹遗传的显性系数则为0.0700，介于完全显性（$D=1$）和完全隐性（$D=-1$）之间，为半隐性（半显性）遗传。

杂交F_1代自交后代对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和硫丹的抗性指数分别为17.66、7.57和9.03，分别是简阳种群的0.4564、0.0456和0.4554倍。杂交F_1代对杭州种群回交后代的抗性指数分别为8.79、3.00和6.61，是杭州种群的1.09、1.05和1.13倍，抗性降低至杭州种群的抗性水准。F_1代对简阳种群的回交后代对辛硫磷和三氟氯氰菊酯的抗性指数分别为36.76和36.57，相当于简阳种群的0.95和0.22倍。

表3　棉铃虫抗辛硫磷、三氟氯氰菊酯和硫丹遗传的显性系数（D）

农药	D_{RS}	D_{SR}	平均值
辛硫磷	－0.3733	－0.0708	－0.2220
三氟氯氰菊酯	－0.3624	0.0670	－0.2147
硫丹	0.2306	－0.0906	0.0700

3　讨论

棉铃虫对杀虫剂的抗药性已有广泛的报道[7,10,11]。印度棉铃虫抗性监测结果表明，对氯氰菊酯和氰戊菊酯有5～6 500倍和16～3 200倍的抗性，对有机磷类农药有2～59倍的抗性，而对硫丹则有1～28倍的抗性水平[10]。从抗性的季节性动态看，抗性呈锯齿状上升[10,11]。在澳大利亚，一般每年生长季节开始阶段，田间尚未使用化学农药之前是当年抗性最低点，当化学农药大量使用后，抗性迅速上升直至当年最高点，但当化学农药停止使用后，非施药区如玉米种植区敏感蛾子的大量迁入导致抗性水平趋于下降。根据敏感个体对群体抗性的稀释原理，澳大利亚制定了相应的抗性治理方案，并取得了较大的成功[11]。

黄河流域是我国棉铃虫危害的重灾区，棉花种植区较为集中，群体抗性水平较高[1]。从本试验对长江流域的抗性监测结果看，长江流域棉铃虫的抗性亦较普遍，多数种群抗性已达较高水平，仅种植棉花面积极少的杭州地区抗性水平相对较低。供试3种农药皆为生产上防效较好的品种。如三氟氯氰菊酯是和其它菊酯农药交互抗性较低的品种，室内抗性筛选表明抗性上升速度明显慢于其它菊酯[7]，且在国内大面积使用较晚。硫丹属于有机氯类农药，于90年代才开始大量使用。故可以推测棉铃虫对其它多种农药的抗性将高于此3种农药，表明我国棉铃虫抗性治理形势严峻。

对敏感基因的保护利用是抗性治理的核心内容。本试验的研究结果表明，在现有抗性水平上，抗性较高水平种群和低抗性种群的基因交流仍将导致抗性水平大幅度下降。但从地理种群群体抗性上看，感性个体的比例明显低于抗性个体，如不实施有效的抗性治理措施，随着化学农药的大量使用，抗性基因将不断趋于纯合，抗性治理将更为困难。

参　考　文　献

1　程桂林，姜延超，杜学林等．1992年北方棉铃虫特大发生原因分析．植物保护，1992，**18**（6）：30～31

2 吴孔明，刘芹轩．棉蚜对杀虫剂抗性的稳定性．昆虫学报，1995，**38**（2）：253～255

3 吴孔明，刘芹轩．棉蚜抗杀灭菊酯品系的某些生物学特性．昆虫学报，1994，**37**（2）：137～144

4 吴孔明，刘芹轩．棉花叶螨对三氯杀螨醇和氧乐果的抗性动态．昆虫知识，1995，**32**（5）：266～270

5 吴孔明，刘芹轩．朱砂叶螨对久效磷抗性的遗传分析．中国农业科学，1994，**27**（3）：50～55

6 吴益东，沈晋良，尤子平．棉铃虫对氰戊菊酯抗性遗传分析．昆虫学报，1995，**38**（2）：20～24

7 梁革梅，郭予元，洪锡午等．棉铃虫对溴氰菊酯、三氟氯氰菊酯及其复配剂的抗性趋势与交互抗性．植物保护学报，1996，**23**（1）：66～72

8 吴孔明，郭予元．棉铃虫的抗寒能力．生态学报，1997，**17**（3）：298～302

9 吴孔明，郭予元．棉铃虫的飞翔活动．生态学报，1996，**16**（6）：612～617

10 Armes N J, Jadhav D R, DeSouza K R. A survey of insectcide resistance in *Helicoverpa armigera* in the Indian subcontinent. Bull. Entomol. Res., 1996, **86**: 499～514

11 Cox P G, Forrester N W. Economics of insecticide resistance management in *Heliothis armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia. J. Econ. Entomol., 1992, **85** (5): 1 539～1 550

THE INFLUENCES OF GENE FLOW BETWEEN GEOGRAPHICAL POPULATIONS ON THE EVOLUTION OF INSECTICIDE RESISTANCE IN *HELICOVERPA ARMIGERA*

Wu Kongming Guo Yuyuan

(*Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences Beijing* 100094)

Abstract The resistance levels to phoxim, cyhalothrin and endosulfan of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner), collected from Jianyang of Sichuan Province, Wuxue of Hubei Province, Hengyang of Hunan Province, Nanjing of Jiangsu Province and Hangzhou of Zhejiang Province, were determined as 8.05～38.80, 2.86～290.00 and 5.87～19.83-fold, respectively in comparison with a susceptible cotton bollworm population. The Jianyang population (R) and Hangzhou population (S) were crossed and backcrossed in the laboratory. The results showed that the resistance levels in the F_1 to phoxim, cyhalothrin and endosulfan were 13.16 and 16.69, 10.43 and 19.00, and 12.42 and 10.21-fold, and the degrees of dominance in heredity of resistance to the three insecticides were estimated to be −0.2220, −0.2147 and 0.0700, respectively. It indicated that phoxim or cyhalothrin resistance was incompletely recessive, and endosulfan resistance was controlled by the semi-recessive gene. The resistance levels of progenies of F_1 breeding to phoxim, cyhalothrin and endosulfan were 17. 66, 7.57 and 9.03-fold, respectively, and that in F_1 backcross with the Hangzhou population were 8.79, 3.00 and 6.61-fold, respectively. Based on the results mentioned above, it is suggested that the gene flow between the resistant and susceptible populations would significantly reduce the resistance levels to the three insecticides.

Key words *Helicoverpa armigera*, geographical population, insecticide resistance, gene flow